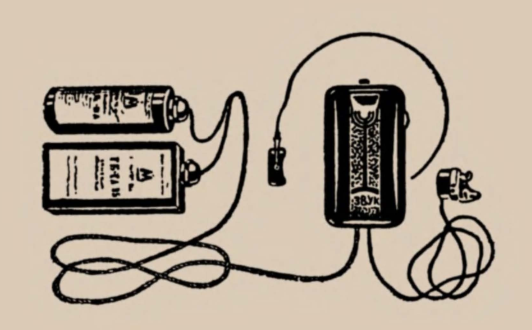
МАССОВАЯ РАДИО-БИБЛИОТЕКА

М. М. ЭФРУССИ

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ



Госэнергоиздат

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

ПОД ОБЩЕЙ РЕДАКЦИЕЙ АКАДЕМИКА А. И. БЕРГА

Выпуск 191

М. М. ЭФРУССИ

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

МОСКВА 1953 ЛЕНИНГРАД

В брошюре описываются слуховые аппараты — усилительные устройства для лиц с пониженным слухом, приводятся схемы, электрические и акустические данные микротелефонных и ламповых слуховых аппаратов и их главных деталей.

Брошюра содержит также сведения о слухе, его поражениях и пригодности различных слуховых аппаратов в зависимости от характера поражения слуха. Дается способ оценки эффективности слуховых аппаратов. Приводятся основные сведения, необходимые для самостоятельного изготовления и ремонта ламповых слуховых аппаратов.

В приложении даны описания выпрямителя для питания батарейных слуховых аппаратов от осветительной сети и приставки к радиоприемнику и приведены характеристики ламп для слуховых аппаратов.

Редактор *Р. М. Малинин* Технич. редактор *И. М. Скворцов*

Сдано в набор 22/IX 1953 г. Подписано к печати 17/XI 1953 г.
Бумага 84/108/32. Объем: 2,5 п. л., Уч.-изд. листов 2,9. Зак. № 317.
Т-08267. Тираж 15 000 экз. Цена 1 руб. 20 коп.

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Партия и Правительство Советского Союза проявляют большую заботу о здоровьи трудящихся и социальном обеспечении граждан полностью или частично утративших трудоспособность. Различные виды протезной помощи являются одним из проявлений такой заботы.

Применение звукоусилительных устройств — слуховых аппаратов — позволило приобщить к общественной и производственной жизни и тех советских граждан, которые страдают от понижения слуха (тугоухости).

Однако пока еще имеется весьма мало литературы о слуховых аппаратах. Это усложняет правильную их эксплуатацию и затрудняет их ремонт. Кроме того, отсутствие достаточных сведений об особенностях применения и устройстве слуховых аппаратов ограничивает возможность самостоятельного их изготовления.

В брошюре рассказывается кратко о слухе, его поражениях и пригодности различных слуховых аппаратов в зависимости от характера поражения слуха. Кроме того, в ней описываются различные слуховые аппараты, приводятся их схемы и необходимые для самостоятельного изготовления и ремонта данные.

Располагая нужными сведениями о принципах устройства и эксплуатации слуховых аппаратов промышленного типа, радиолюбители могут оказать помощь владельцам этих аппаратов консультацией, ремонтом, разработкой новых и усовершенствованием старых конструкций таких аппаратов.

Автор

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Краткие сведения об органе слуха и его поражениях 5

Виды слуховых аппаратов 13

Микротелефонные слуховые аппараты 20

Слуховые аппараты с электронными лампами 25

Испытание и ремонт слуховых аппаратов 36

Приложения: 1. Выпрямитель для питания слухового аппарата от осветительной сети 42

2. Приставка к радиоприемнику для тугоухих 43

3. Характеристики ламп 06П2Б и 1П2Б для слуховых аппаратов 45

Литература 48

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ОРГАНЕ СЛУХА И ЕГО ПОРАЖЕНИЯХ

Человеческое ухо является весьма совершенным инструментом с огромным динамическим диапазоном воспринимаемых интенсивностей звуков, который приблизительно равен числу $25 \cdot 10^{12}$, так как минимальное звуковое давление, воспринимаемое ухом на пороге слышимости в свободном звуковом поле, составляет всего 0,00009 *бар*, а максимальное (при болевом пороге) равно приблизительно 450 *бар* [1].

Слуховой орган человека состоит из наружного, среднего и внутреннего уха (фиг. 1).

Наружное ухо содержит ушную раковину и слуховой проход, который тесно граничит с челюстным суставом. Если закрыть слуховой проход и открывать и закрывать рот, то отчетливо слышны толчки головки нижней челюсти о переднюю стенку слухового прохода. Слуховой проход заканчивается, немного сужаясь, барабанной перепонкой, являющейся границей между наружным и средним ухом. Барабанная перепонка представляет собой пленку толщиной около 0,1 *мм*, втянутую в сторону среднего уха. Она соединена с косточкой («рукояткой молоточка»), образуя подобие конуса.

Среднее ухо представляет собой воздушную полость внутри височной кости. Эта полость, называемая барабанной, соединяется через канал — евстахиеву трубу — с глоткой, откуда в среднее ухо попадает воздух.

---

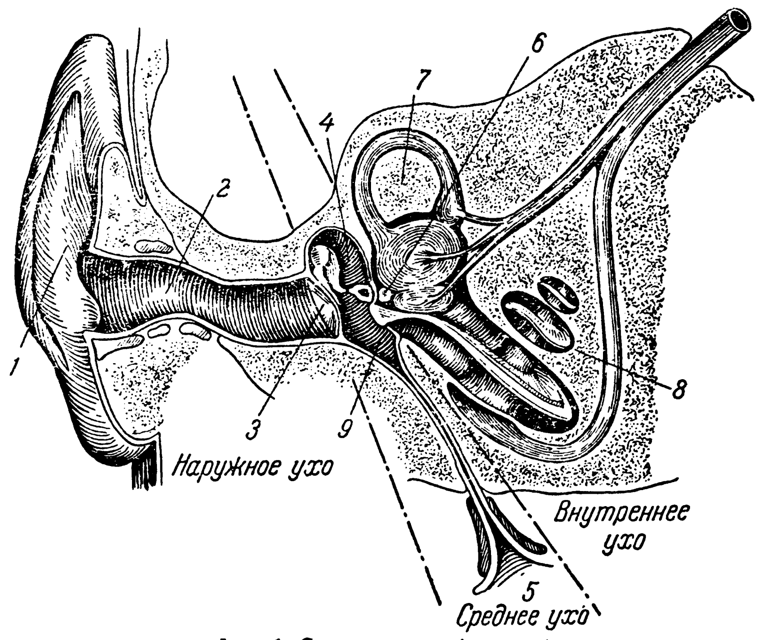
[1] Динамическим диапазоном называется отношение максимального значения какой-либо переменной величины (амплитуды, мощности и т. п.) к минимальному ее значению. Для слуха это будет отношение максимальной воспринимаемой интенсивности звука к минимальной ($5 \cdot 10^2$ *мквт/см²* к $2 \cdot 10^{-11}$ *мквт/см²*).

Сила или интенсивность звука — поток звуковой энергии через единицу площади в одну секунду. Сила звука пропорциональна второй степени величины звукового давления.

Бар—единица звукового давления, численно равная давлению силы в 1 дину на площадь в 1 *см²*.

Чтобы барабанная перепонка могла беспрепятственно колебаться, необходимо равенство воздушных давлений по обеим ее сторонам.

Всем хорошо знакомо явление временной глухоты, наступающее после сильного сморкания, вследствие попадания в среднее ухо воздуха под повышенным (из-за сморкания)



Фиг. 1. Строение уха (правого).

1 — ушная раковина; *2* — слуховой проход; *3* — барабанная перепонка; *4* — полость среднего уха и слуховые косточки; *5* — евстахиева труба; *6* — овальное окно; *7* — полукружные каналы; *8* — улитка; *9* — круглое окно.

давлением и закупоривания при этом евстахиевой трубы слизью, что ведет к выпячиванию барабанной перепонки. При глотании евстахиева труба открывается и, выравнивая давление, восстанавливает нормальное восприятие звука. Часто по этой трубе в среднее ухо попадает инфекция, вызывающая ушное заболевание.

В среднем ухе находится система косточек («молоточек», «наковальня» и «стремя»), которыми колебания барабанной перепонки передаются внутреннему уху.

Внутреннее ухо, или лабиринт, состоит из системы трех полукружных каналов, расположенных в трех взаимно пер-

пендикулярных плоскостях, являющихся только органами равновесия, и органа слухового восприятия, похожего на улитку, почему он так и называется. Улитка заключена в толстую костяную оболочку и наполнена почти несжимаемой жидкостью — лимфой. В улитке находятся чувствительные к звуку окончания слухового нерва в виде клеток с микроскопическими волосками и вблизи них нежная, легко подвижная спирально завитая вдоль ходов улитки мембрана, называемая текториальной. Взаимные движения этой мембраны и волосатых клеток слухового нерва обусловливают ощущение звука центрами слухового восприятия, находящимися в височных частях мозга, к которым подходят окончания слуховых нервов. Улитка сообщается со средним ухом двумя отверстиями (овальным и круглым окнами), затянутыми упругими перепонками. С перепонкой овального окна соединено «стремя».

Звуковые волны, попадая в слуховой проход, приводят в колебания барабанную перепонку. Через цепь трех связанных с нею косточек («молоточек», «наковальня» и «стремя») звуковые колебательные движения передаются овальному окну и через него жидкости улитки. При этом давление овального окна на жидкость благодаря рычажной связи будет в 30—50 раз больше звукового давления на барабанную перепонку.

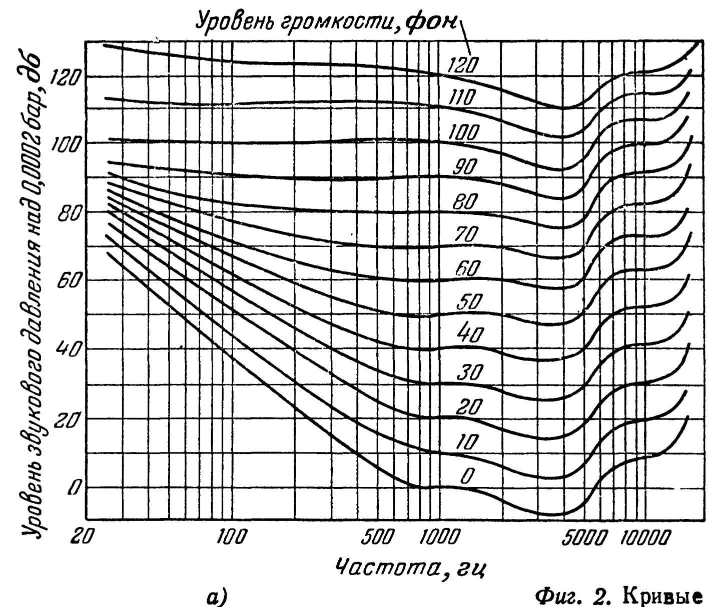
Перемещения овального окна вызывают через посредство находящейся в улитке жидкости (подобно тому, как действует гидравлический пресс) обратные по направлению перемещения круглого окна. Жидкость улитки при своем перемещении вызывает прикосновение волосатых клеток к текториальной мембране и создает этим раздражение слуховых нервов, передаваемое слуховым центрам. Это и дает слуховое восприятие звуковых волн. Таков обычный путь, которым осуществляются прохождение и восприятие звука. Он носит название *воздушной проводимости.*

Однако существует еще одна возможность восприятия звука — через кости черепа. Для прослушивания звука таким путем, который называется *костной проводимостью,* костям черепа (например зубам или косточке за ухом, носящей название сосцевидного отростка) необходимо сообщить звуковые вибрации. Это можно осуществить, приложив к одному из этих мест ножку колеблющегося камертона или мембрану телефонной трубки, с которой снята крышка.

Такой способ восприятия звука по костной проводимости возможен потому, что звуковые вибрации сообщаются костям черепа и далее стенкам слухового прохода, стенкам лабиринта и аппарату внутреннего уха. При этом возникает неодинаковая деформация частей (ходов) улитки, происходит смещение текториальной мембраны и окончания слуховых нервов получают раздражение так же, как и при восприятии звука по воздушной проводимости.

Костная проводимость является как бы резервным каналом для проведения звука, преобразованного в механические вибрации. Во многих случаях понижения слуха костная проводимость оказывается значительно менее пораженной, чем воздушная. Это обстоятельство позволяет с успехом использовать слуховые аппараты, дающие возможность воспринимать звуки именно через костную проводимость.

Известно, что с изменением физической силы звука субъективное ощущение громкости изменяется пропорционально не силе звука, а приблизительно логарифму силы звука. Эта особенность уха послужила основанием для оценки слуха, точнее порогов и уровней слышимости, в относи-



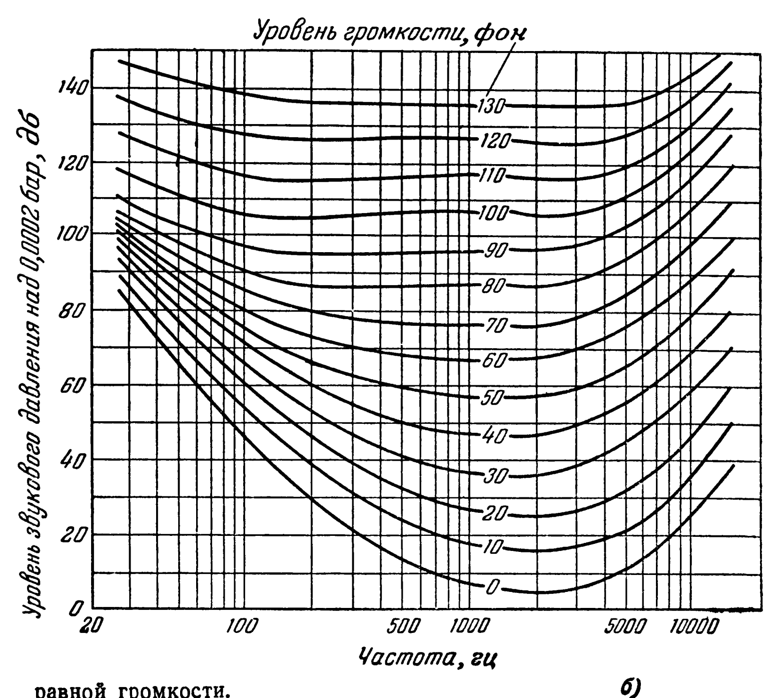
Фиг. 2. Кривые

а — при прослушивании открытым ухом; *б* — при

тельных логарифмических единицах — децибелах (*дб*). Их употребление позволяет свести весь динамический диапазон слышимых звуков приблизительно к 127 *дб*, избавляя от неудобства оперирования с малыми числами (дробями) при оценке слуха в барах.

На фиг. 2,*а* показано семейство частотных характеристик среднего нормального уха, называемых кривыми равной громкости. Каждая из этих кривых показывает, каким должно быть звуковое давление в свободном пространстве, чтобы звуковые колебания различных частот ощущались ухом с одинаковой громкостью. Самая нижняя кривая характеризует минимальную ощущаемую ухом интенсивность звука (порог слышимости), а самая верхняя — минимальную интенсивность звука, вызывающего болевые ощущения в ухе (болевой порог).

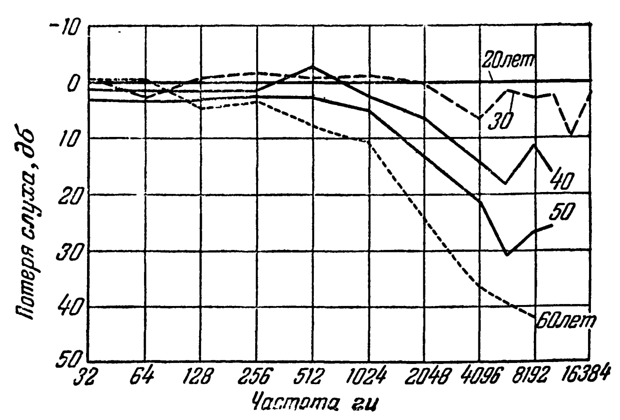
На фиг. 2,*б* показано аналогичное семейство кривых равной громкости для случая, когда звук прослушивают с по-



равной громкости.
прослушивании через телефонную трубку.

мощью телефонной трубки, т. е. для уровней звуковых давлений, измеренных у барабанной перепонки.

Из сравнения кривых фиг. 2 видно, что ухо в среднем на 7 *дб* менее чувствительно при прослушивании звука с помощью телефонной трубки, чем при прослушивании его в свободном пространстве (открытым ухом). Кроме того, эти кривые показывают, что чувствительность уха в обоих случаях уменьшается как с понижением, так и с повышением частоты; поэтому на нижних и верхних частотах требуются бóльшие, чем на средних частотах, звуковые давления для



Фиг. 3. Возрастное понижение слуха.

ощущения ухом одинаковой громкости. Однако по мере повышения уровня громкости чувствительность уха к различным частотам становится более равномерной. Отметим, что чувствительность уха, характеризуемая приведенными кривыми, является средней (у отдельных людей эта чувствительность может незначительно отличаться).

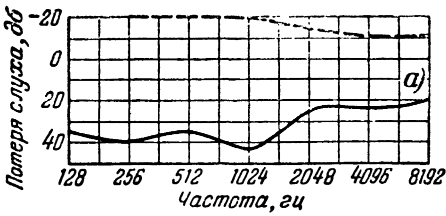
С возрастом часто в ухе происходят патологические изменения, приводящие к понижению остроты слуха (главным образом к верхним частотам). На фиг. 3 приводятся кривые, построенные на основании среднестатистических данных, которые показывают, как с возрастом может теряться острота слуха.

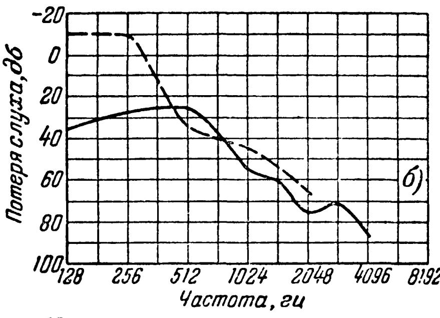
Понижение слуха может произойти по трем причинам:

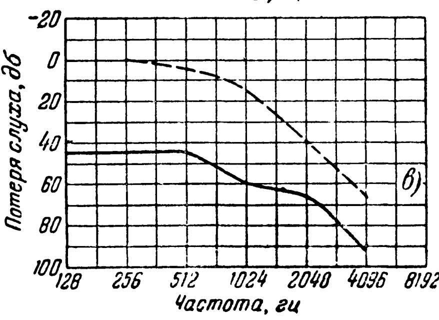
1) поражение звукопроводящего аппарата; в этом случае заболевание локализуется главным образом в наружном или среднем ухе;

2) поражение звуковоспринимающего аппарата — заболевание внутреннего уха или слухового нерва;

3) комбинированное поражение — одновременное поражение среднего и внутреннего уха.







Фиг. 4. Примерные образцы аудиограмм для основных поражений органа слуха.
а — поражение звукопроводящего аппарата; *б* — поражение звуковоспринимающего аппарата; *в* — комбинированное поражение. Сплошные линии изображают воздушную проводимость, штриховые — костную проводимость.

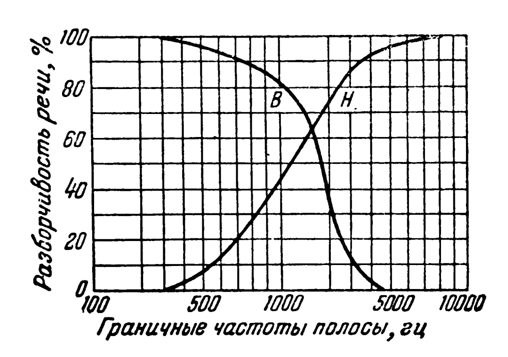
Типичные аудиограммы таких поражений слуха представлены на фиг. 4; разумеется, потеря слуха может быть различной при любом типе поражения.

При большинстве поражений слуха употребление слуховых аппаратов — приборов, увеличивающих уровень звуковой энергии, подводимой к уху, приносит существенную пользу больным.

Важной особенностью слуха для оценки качества слуховых аппаратов является зависимость разборчивости речи (артикуляции) от пропускаемой аппаратурой ширины полосы (диапазона) частот. Кривая *Н* на фиг. 5 показывает, как меняется разборчивость при срезании всех высших частот от выбранной частоты. То же самое показывает кривая *В* при срезании всех низших частот. Например, при отсутствии всех частот ниже 500 *гц* (кривая *В*) обеспечивается 96% разборчивости, а отсутствие частот выше 4 000 *гц* делает разборчивость равной 92% (кривая *Н*). Из кривых фиг. 5 можно сделать вывод, что вполне удовлетво-

рительная разборчивость воспроизведения речи обеспечивается при пропускании полосы частот приблизительно от 500 до 4 000 *гц*.

Остроту слуха наиболее точно можно измерить с помощью специального прибора — аудиометра. Он состоит из генератора электрического напряжения звуковой частоты, которую можно плавно или скачками изменять, усилителя низкой частоты с регулятором усиления (аттенюатором), обеспечивающим регулировку выходного напряжения ступенями по 5 *дб*, и телефонов воздушной и костной проводимости.



Фиг. 5. Влияние ограничения полосы передаваемых частот на разборчивость речи.

С помощью аудиометра определяются пороги слышимости ушей испытуемого на нескольких частотах для каждого из телефонов. В результате исследования слуха получают аудиограмму — семейство частотных характеристик правого и левого уха, указывающих потерю слуха для воздушной и костной проводимости (фиг. 4).

Так как потеря слуха до 20 *дб* почти не ощущается в быту, слуховые аппараты чаще всего применяются при потере слуха на средних частотах не меньше чем на 40—45 *дб*. Это соответствует состояниям слуха, когда разговорная речь без аппарата воспринимается не дальше чем с 1,5—2,5 *м*. Пределом потери слуха, при котором могут употребляться слуховые аппараты, является величина порядка 90 *дб*. При такой потере слуха может быть воспринят только крик около ушной раковины.

В большинстве случаев хорошие результаты получаются при использовании телефонов воздушной проводимости (см.

ниже). Однако при заболеваниях уха, при которых мало поражается костная проводимость (например, отосклероз), возможно применение слуховых аппаратов и с телефонами костной проводимости. Такие телефоны рекомендуется также использовать при наличии выделений из уха.

Если аудиограмма показывает, что потеря слуха по костной проводимости на средних частотах не более половины потери по воздушной, то лучшие результаты могут быть получены при использовании телефонов костной проводимости.

В случае неодинаковой потери слуха на оба уха стараются снабдить слуховым аппаратом худшее ухо, так как при этом улучшение слуха будет более эффективным. Как правило, аппаратом пользуются только на одно ухо вследствие распространенной неоднородности потери слуха на правое и левое ухо. Снабжение телефонами и правого и левого уха затруднило бы подгонку акустических характеристик аппарата, тем более, что стереофонический эффект (ощущение местонахождения источника звука) существующими аппаратами все равно не может быть сохранен даже при двух телефонах.

Изредка встречаются случаи поражения внутреннего уха, осложненные поражением слуховых центров, при которых нарушается способность синтеза звуков, проявляющаяся в затрудненной разборчивости речи. В таких случаях применение слухового аппарата неэффективно.

Как показали многочисленные наблюдения, слух от употребления слухового аппарата не ухудшается, а даже несколько улучшается, что указывает на стимулирующую роль аппарата для развития остатков слуха.

ВИДЫ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Увеличение уровня звуковой энергии, подводимой к уху, может быть осуществлено либо акустическим способом — путем концентрации в слуховом проходе звуковой энергии, собираемой с большей, чем он, площади, либо электроакустическим способом — путем усиления звуковой энергии, падающей на приемник звуха (микрофон), и подачи усиленной энергии к уху (телефоном). Первые слуховые аппараты были чисто акустическими. К их числу относятся простые воронкообразные слуховые трубки (рожки). На фиг. 6 показаны образцы слуховых трубок; внизу изобра-

жена двуухая слуховая трубка, выпускавшаяся в 1940 г. Московской мастерской слуховых аппаратов.

Действие таких трубок основано на том, что площадь открытого конца трубки в несколько раз больше площади слухового прохода; звуковая энергия, падающая на широ-



Фиг. 6. Слуховые рожки.

кий конец трубки, распространяясь в ней, доставляется другим (узким) концом трубки уху.

Эффективность и частотные свойства слуховых трубок целиком зависят от их размеров. Такие трубки повышают звуковое давление (дают усиление) всего в 3—8 раз.

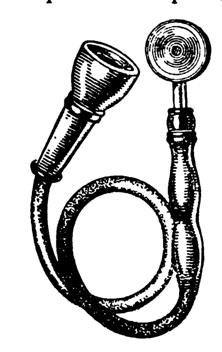
Другими слуховыми акустическими приспособлениями являются гельмгольцовские акустические резонаторы, повы-

щающие громкость звуков за счет резонансных свойств заключенного в их объеме воздуха. Некоторые из них внешне напоминают слуховые трубки. Другие настолько миниатюрны, что могут помещаться в ушных раковинах (фиг. 7). Их резонансные частоты обычно лежат в диапазоне 1 000 ÷ 3 000 *гц*. Ширина полосы усиливаемых всеми упомянутыми акустическими приборами частот весьма мала.

Разновидностью слуховой трубки является также переговорная трубка (фиг. 8), назначение которой заключается в том, чтобы почти всю звуковую энергию говорящего в раструб на одном конце шланга подвести к слушающему на другом его конце.



Фиг. 7. Миниатюрный резонатор в ушной раковине.

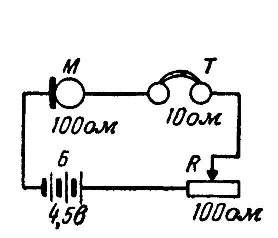


Фиг. 8. Переговорная трубка.

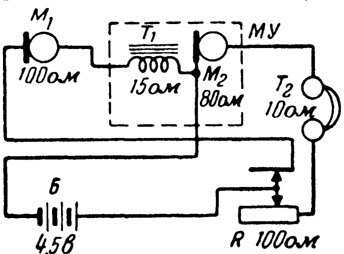
Возможности, даваемые акустическими вспомогательными приспособлениями, весьма ограничены. Поэтому они вытеснены электрическими слуховыми аппаратами, в которых увеличение звуковой энергии (усиление) происходит за счет расхода электрической энергии от батарей. Использование энергии батареи позволяет сделать уровень вторичной звуковой энергии, подводимой к уху, значительно выше первичной существующей в точке приема. При этом сначала звуковая энергия преобразуется в энергию электрического тока (в микрофоне), а затем энергия электрического тока — в звуковую (в телефоне). Впервые электрический микротелефонный слуховой аппарат появился в 1900 г.

Простейший электрический слуховой аппарат состоит из соединенных последовательно микрофона *М*, батареи *Б*, телефона *Т* и переменного сопротивления *R*, служащего регулятором громкости (фиг. 9). Конструкция элементов схемы микротелефонного аппарата отличается в основном от применяемых в телефонии только несколько меньшими раз-

мерами. Коэффициент усиления по звуковому давлению (отношение звукового давления, развиваемого воздушным телефоном, к звуковому давлению у микрофона) такого аппарата может доходить на средних частотах до 15 (23 *дб*).



Фиг. 9. Схема простейшего микротелефонного слухового аппарата.



Фиг. 10. Схема слухового аппарата с микротелефонным усилителем.

Большее усиление можно получить с помощью слухового аппарата с микротелефонным усилителем *МУ* (фиг. 10 и 11). Такой усилитель не только повышает громкость работы телефона воздушной проводимости, но и позволяет применить



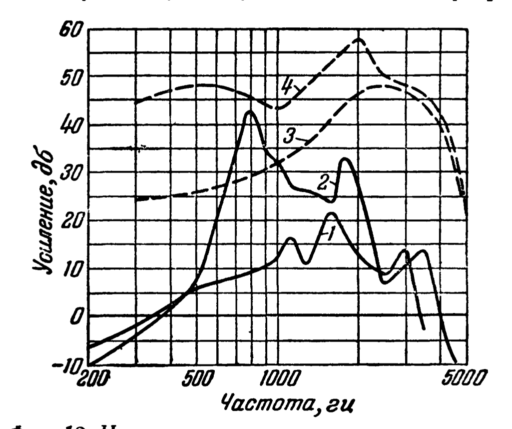
Фиг. 11. Внешний вид микротелефонного слухового аппарата М-39.

телефон костной проводимости, потребляющий бо̀льшую мощность, чем воздушный.

Максимальный коэффициент усиления по звуковому давлению современного микротелефонного аппарата с усилителем (правда, в весьма ограниченной полосе средних частот) доходит до 100 (40 *дб*).

Примерные частотные характеристики микротелефонных слуховых аппаратов показаны на фиг. 12 и 13. Величина максимального усиления сильно зависит от степени совпадения частот, соответствующих максимумам чувствительности микрофона, телефона и микротелефонного усилителя.

Основными недостатками микротелефонных слуховых аппаратов являются значительные частотные и нелинейные искажения. Первые происходят вследствие наличия резонансных частот у телефона, усилителя и микрофона, создаю-



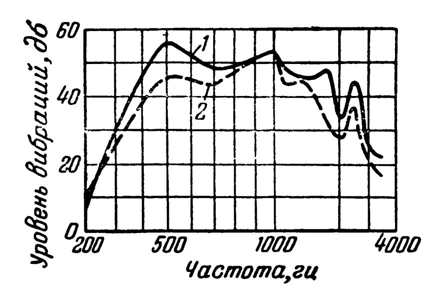
Фиг. 12. Частотные характеристики микротелефонных и лампового слуховых аппаратов.

1 — без микротелефонного усилителя; 2 — с микротелефонным усилителем; 3 — трехлампового аппарата в одном из крайних положений регулятора тембра; 4 — то же, в другом крайнем положении регулятора тембра.

щих нежелательные пики в частотной характеристике аппарата. Частотные искажения в полосе частот 500 ÷ 3 500 *гц* достигают ±8 ÷ 10 *дб* у аппарата без усилителя и ±17 ÷ 20 *дб* у аппарата с усилителем. Нелинейные искажения порождаются главным образом угольным микрофоном (как звукоприемника, так и усилителя). Так, например, один из слуховых аппаратов с микротелефонным усилителем при звуковом давлении в 1 *бар* на микрофоне воспроизводил звук с коэффициентом нелинейных искажений в 100% на частоте 500 *гц*, 8 ÷ 12% на частоте 1 000 *гц* и 5 ÷ 8% на частоте 1 500 *гц*. Сравнительно невысокий коэффициент нелинейных искажений в области верхних частот с тенденцией уменьшения по мере роста частоты объясняется падением чувствительности телефона в области частот второй и третьей гар-

моник. Нелинейность приводит к изменению чувствительности микрофона при изменении воздействующего на него звукового давления, а это ведет к снижению усиления слабых (удаленных) звуков и понижает разборчивость при удалении микрофона от говорящего. Радиус действия такого слухового аппарата обычно не превышает 2—4 *м*.

Отмеченные недостатки микротелефонных слуховых аппаратов обусловливают то, что они способны помочь только приблизительно 50—60% тугоухим.



Фиг. 13. Частотная характеристика микротелефонного слухового аппарата с костным телефоном (0 *дб* — порог слышимости по костной проводимости при 1 *бар* звукового давления у микрофона).

1 — при максимальной чувствительности телефона на нижних частотах; 2 — то же, на средних частотах.

В 1936 г. появились слуховые аппараты с электронными лампами. Они позволяют получить большой коэффициент усиления при сравнительно малых частотных и нелинейных искажениях. Кроме того, ламповый аппарат имеет также и меньший уровень собственных шумов, чем микротелефонный. Поэтому при употреблении лампового аппарата значительно повышается разборчивость речи и увеличивается до 6—12 *м* расстояние, на котором практически возможно слушать речь. Хорошие акустические свойства ламповых аппаратов сделали возможным употребление их теми больными, которые не могли пользоваться микротелефонными аппаратами вследствие особенностей своего заболевания. Таким образом, ламповый слуховой аппарат способен оказать помощь 80% тугоухим. Даже тем из больных, кто пользуется микротелефонным аппаратом, ламповый аппарат сулит лучшую разборчивость и возможность слышать на бóльших расстояниях.

Питание лампового слухового аппарата может осуществляться от батарей или же от осветительной сети через выпрямитель. Для слуховых аппаратов выпускаются специальные малогабаритные анодные батареи галетного типа напряжением 15—45 *в* и элементы накала напряжением 1,45 *в*. Наиболее малогабаритные батареи и элементы поме-

щаются в самом слуховом аппарате. Батарейный способ питания делает возможным пользование слуховым аппаратом в любом месте, т. е. обеспечивает ему бóльшую автономность и мобильность, чем аппарату, питаемому от сети. Поэтому батарейное питание является более распространенным.

Возможность осуществления рациональной конструкции слухового аппарата зависит главным образом не только от параметров и миниатюрности усилительных ламп, но и от их экономичности по накалу и аноду. Это особенно важно для батарейных аппаратов. Кроме этого, существенное значение для уменьшения собственных шумов аппарата имеет частота микрофонного эффекта ламп [1], определяемая жесткостью их конструкции; чем выше будет эта частота, тем меньше будет шум аппарата. К сожалению, повышение экономичности ламп, сопровождающееся уменьшением диаметра нити накала, понижает частоту микрофонного эффекта. У современных ламп, имеющих нити накала толщиной меньше 8 *мкн* и рабочую температуру около 500° С, частота микрофонного эффекта составляет около 4 000 *гц*. Несколько проще обстоит вопрос с лампами для аппаратов, питаемых от осветительной сети, поскольку к их портативности и экономичности предъявляются значительно менее жесткие требования.

В аппаратах с электронными лампами употребляются главным образом электромагнитные телефоны воздушной и костной проводимости с низкоомной обмоткой. Они соединяются с усилителем через миниатюрный выходной трансформатор с сердечником из пермаллоя (сплав стали с никелем, прошедший после штамповки пластин термообработку). Пьезоэлектрические телефоны в настоящее время используются редко, так как их эксплуатационная надежность и акустические свойства (при очень малых габаритах) ниже, чем у электромагнитных.

Каждый ламповый аппарат, помимо регулятора громкости и выключателя накала, содержит регулятор тембра, с помощью которого можно изменять частотную характеристику усиления, устанавливая ее оптимальной для данного больного.

Вследствие миниатюрности и высокой компактности монтажа ламповых аппаратов их размеры стали даже меньше,

[1] Собственная (резонансная) частота колебаний нити после ее ударного возбуждения (сотрясения).

чем у значительно более простых по схеме и числу деталей микротелефонных слуховых аппаратов. Разницу между микротелефонным и ламповым аппаратами в качестве воспроизведения звука легко усмотреть, сопоставив хотя бы их частотные характеристики (см. фиг. 12).

МИКРОТЕЛЕФОННЫЕ СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ

Усиление микротелефонных слуховых аппаратов, основанное на свойствах цепи с угольным микрофоном, определяется чувствительностью микрофона и телефона и близостью их резонансных частот.

Максимальная чувствительность микрофонов безламповых слуховых аппаратов составляет около 140 *мв/бар*. Статическое (в тишине) сопротивление таких микрофонов составляет около 100 *ом*, причем оно зависит от положения микрофона.

Подобный микрофон чаще всего содержит два неподвижных электрода (колодки с лунками), в которые засыпаются 72 угольных шарика диаметром 0,8 *мм*. Мембрана его также угольная. В схему микрофон включается обеими колодками.

Высокая чувствительность телефонов как воздушной, так и костной проводимости определяется главным образом качеством постоянных магнитов и магнитным сопротивлением (проницаемостью) материала якоря. Наилучшими для изготовления магнитов являются сплавы альнико и магнико. Для якорей в отечественных телефонах применяется пермендюр. Катушки у всех телефонов — низкоомные с сопротивлением постоянному току 10—15 *ом*.

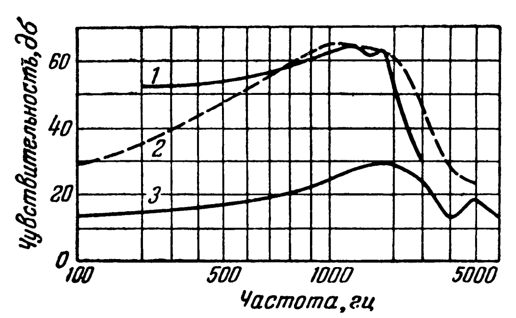
Примерные частотные характеристики подобных телефонов показаны на фиг. 14 (кривые *1* и *2*). Высокая чувствительность телефонов объясняется их малым сопротивлением [1]. Максимум чувствительности телефонов чаще всего находится на частоте 1 000—2 000 *гц*. Частоту максимума можно немного перенести изменением упругости мембраны и величины воздушного объема под крышкой телефона.

Большинство употребляемых воздушных телефонов малогабаритные: их диаметр 18—24 *мм* и толщина 8—15 *мм*.

[1] Развиваемое телефоном звуковое давление пропорционально переменному току в обмотке телефона; поэтому при одинаковом электрическом напряжении, приложенном к обмотке телефона, через обмотку с малым сопротивлением потечет больший ток.

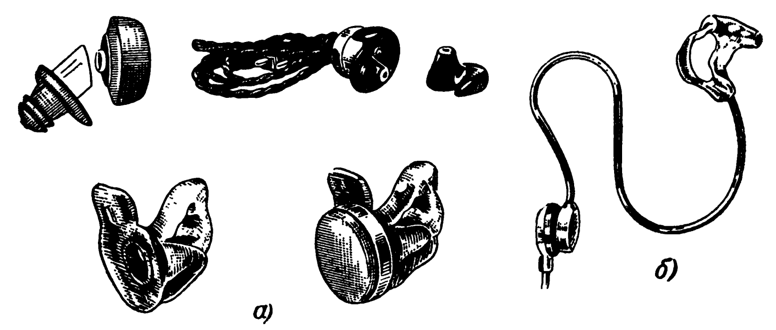
Такие телефоны удерживаются в ушной раковине с помощью пластмассового или резинового вкладыша (фиг. 15).

Пьезоэлектрические телефоны в микротелефонных аппаратах почти не применялись, так как требовали введения в схему повышающего трансформатора.



Фиг. 14. Частотные характеристики малогабаритных воздушных телефонов (0 *дб* = 1 *бар/в*).
1 и *2* — электромагнитных телефонов; *3* — пьезоэлектрического телефона.

Устройство костного телефона (фиг. 16) существенно отличается от воздушного. В то время как мембрана последнего приводит в колебание воздух в слуховом проходе, в ко-

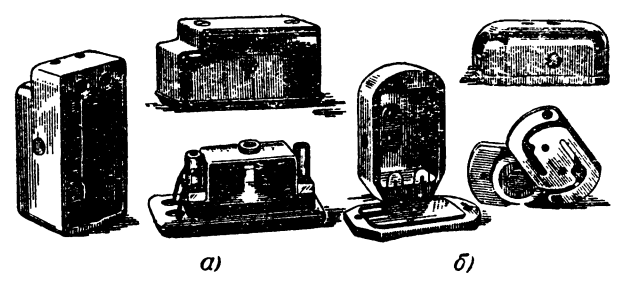


Фиг. 15. Ушные вкладыши.
а — обычного типа; *б* — с удлинительной трубкой.

стном телефоне колеблется его корпус, прикладываемый к кости за ухом, сообщая вибрации костям черепа.

Костный, как и воздушный, телефон содержит магнитную систему и якорь, который жестко связан с пластмассовым корпусом и гибко через пружину с магнитной системой.

Корпус с якорем и магнитная система представляют собой две соизмеримые массы, связанные через упругость, поэтому при прохождении по обмотке телефона тока звуковой частоты возникают взаимные колебания корпуса и магнитной систе-

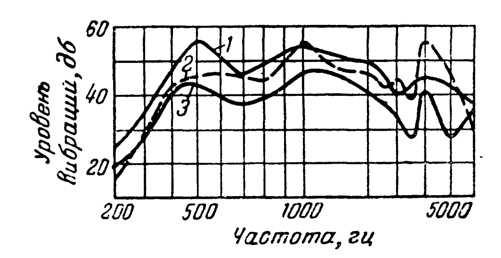


Фиг. 16. Костные телефоны.

а — старого типа; *б* — нового типа;

мы. Изменением гибкости связи магнитной системы и якоря (корпуса) можно в некоторых пределах изменять частотную характеристику костного телефона.

На голове костный телефон удерживается с помощью пружинного оголовья (дуги), которое для облегчения удоб-



Фиг. 17. Частотные характеристики костных телефонов (0 *дб* — порог слышимости по костной проводимости при 1 *в* на телефоне).

1 — с максимумом чувствительности на нижних частотах; *2* — то же, на верхних частотах; *3* — то же, на средних частотах.

ного расположения телефона на кости за ухом в месте закрепления телефона имеет двойной шарнир.

На фиг. 17 приведены частотные характеристики костных телефонов с максимумом чувствительности на различных частотах.

Изменение частотной характеристики костного телефона, так же как и телефона воздушной проводимости, позволяет изменять сквозную (полную) частотную характеристику слухового аппарата с целью приспособления ее к характеристике уха.

Микротелефонный усилитель (иногда называемый механическим) является одной из ответственных деталей безлампового слухового аппарата. Он представляет собой малогабаритные угольный микрофон и электромагнитный телефон, имеющие общую мембрану.

Устройство одного из микротелефонных усилителей показано на фиг. 18. Микрофон усилителя содержит угольные шарики диаметром 0,5 *мм*. Хорошая чувствительность телефона, имеющего катушки с сопротивлением постоянному току в 15 *ом*, обеспечивается его конструкцией и высококачественными магнитными материалами.

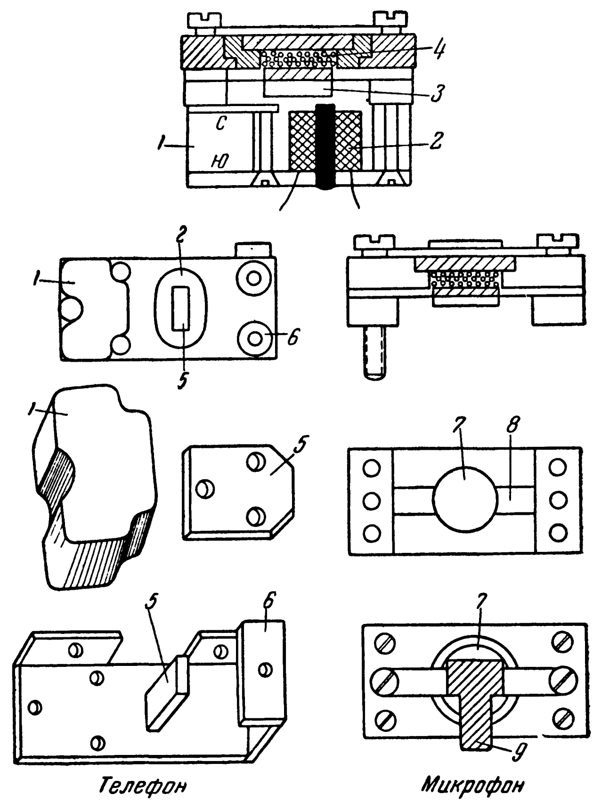
Максимальный коэффициент усиления (8—10) микротелефонного усилителя находится в области частоты механического резонанса мембраны, лежащей в пределах 1 500 —2 500 *гц* (фиг. 19). За резонансной частотой коэффициент усиления резко падает, становясь отрицательным, т. е. усилитель превращается в «ослабитель».

На телефонную обмотку микротелефонного усилителя допустима подача переменного напряжения не более чем 0,2 *в*. При бо̀льших напряжениях усилитель перегружается и вносит недопустимые нелинейные искажения.

Входящее в схему микротелефонного слухового аппарата переменное сопротивление R (см. фиг. 9 и 10) служит регулятором громкости, которым может быть несколько понижен коэффициент усиления аппарата. В аппарате с усилителем регулятор не может быть включен в цепь микрофона M_1, так как при регулировке громкости таким способом изменяется подмагничивающий ток через микротелефонный усилитель, вследствие чего смещается его мембрана и этим нарушается правильная работа микрофона M_2. По этой же причине необходимо соблюдение полярности включения батареи $Б$ (правильная полярность обеспечивается применением штырьков разного диаметра).

Через телефоны воздушной и костной проводимости протекает подмагничивающий ток в 30—50 *ма*. Поэтому полярность включения телефонов также имеет существенное значение; для ее соблюдения вилки телефонного шнура делаются различной толщины.

Большинство микротелефонных аппаратов рассчитано на питание от батареи напряжением 4,5 *в* (специальная батарея типа БГ или батарея карманного фонаря). Аппарат без



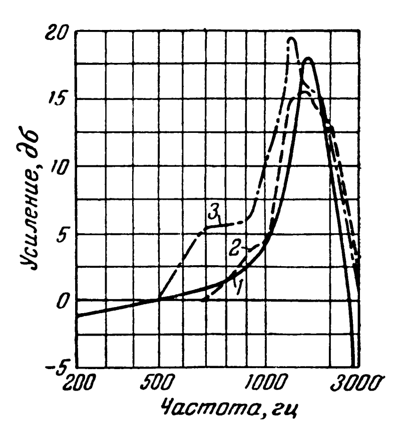
Фиг. 18. Одна из конструкций микротелефонного усилителя.

1 — магнит; *2* — катушка; *3* — якорь; *4* — угольные шарики; *5* — полюсные наконечники (из железа „Армко" толщиной 1 *мм*); *6* — столбик (или уголок); *7* — угольные диски; *8* — мембрана (из фосфористой бронзы); *9* — контакт.

микротелефонного усилителя потребляет ток 30—40 *ма* и с усилителем 70—90 *ма*. При таких токах в аппарате без усилителя батарея карманного фонаря служит около 10 час., а в аппарате с усилителем около 4 час. Батарея БГ служит соответственно около 50 и 20 час. Эти сроки можно несколь-

ко увеличить, если пользоваться одновременно двумя батареями, употребляя каждую через день.

Ввиду того, что микротелефонный аппарат имеет явно выраженный максимум усиления на некоторых частотах, следует установить этот максимум усиления в зоне частот наибольшей потери слуха у данного больного. Эта индивидуальная пригонка аппарата осуществляется подбором согласно аудиограмме частотных свойств телефонов. Для этой цели телефоны воздушной и костной проводимости выпускаются с максимумами чувствительности, лежащими на различных частотах (см. фиг. 17).



Фиг. 19. Частотные характеристики трех (*1*, *2* и *3*) микротелефонных усилителей.

В применяемых до недавнего времени воздушных телефонах большого габарита небольшое изменение частоты максимальной чувствительности осуществлялось изменением натяжения мембраны с помощью специального растягивающего устройства.

СЛУХОВЫЕ АППАРАТЫ С ЭЛЕКТРОННЫМИ ЛАМПАМИ

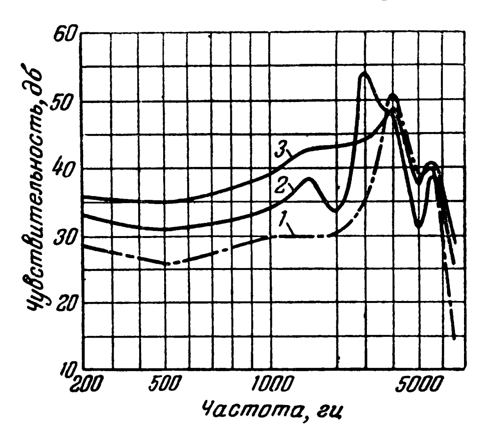
Ламповый слуховой аппарат состоит из микрофона, усилителя, телефона воздушной или костной проводимости и батарей накала и анода.

Самые первые ламповые аппараты имели двухкаскадные усилители с трансформаторной связью на малогабаритных триодах. В них применялись угольные порошковые микрофоны с конусными алюминиевыми мембранами и телефоны среднего габарита с высокоомными обмотками, включаемыми непосредственно в анодные цепи выходных ламп усилителей.

Однако высокий уровень собственных шумов угольных микрофонов, ограничивающий дальность действия аппарата, и недостаточная стабильность его работы (спекание угольного порошка) привели вскоре к использованию в слуховых аппаратах мембранных пьезоэлектрических микрофонов.

За последние несколько лет достигнуты большие успехи в создании малогабаритных и высокочувствительных пьезомикрофонов. Максимум чувствительности их лежит в области 3 000—4 000 *гц*. Это весьма важно для улучшения общей частотной характеристики аппарата, так как обычно на этих частотах телефоны имеют пониженную чувствительность.

На фиг. 20 показаны частотные характеристики чувствительности современных пьезомикрофонов, которая на указанных частотах достигает 50 *мв/бар*, при средней чувстви-



Фиг. 20. Частотные характеристики пьезомикрофонов для слуховых аппаратов (0 *дб* = 0,1 *мв/бар*).

тельности в полосе 100—6 000 *гц* порядка 18—20 *мв/бар*. Кривая *1* соответствует микрофону с наружным диаметром 32 *мм*, а кривые *2* и *3* микрофонам диаметром 40 и 50 *мм*; толщина всех этих микрофонов около 5 *мм*.

Телефоны воздушной и костной проводимости, применяемые в ламповых аппаратах, отличаются от телефонов микротелефонных аппаратов только несколько меньшим воздушным зазором между якорем и полюсными наконечниками. Это возможно потому, что отсутствует подмагничивающий ток в их обмотках.

В некоторых ламповых аппаратах использовались миниатюрные воздушные пьезотелефоны. На приведенной выше фиг. 14 показана частотная характеристика (кривая *3*) одного такого телефона наружным диаметром 20 *мм*. Воз-

душные телефоны применяются вместе с описанными в разделе о микротелефонных аппаратах ушными вкладышами, причем в некоторых случаях употребляются вкладыши с удлинительной трубочкой, позволяющей держать телефон в кармане.

Использование пьезотелефонов ограничивается не только их электроакустическими качествами, но и их недостаточной эксплуатационной надежностью, а также тем, что пьезотелефон представляет собой емкостную нагрузку для выходной лампы (емкость порядка 0,0015 *мкф*). Последнее затрудняет получение хорошей частотной характеристики лампового усилителя (способствует снижению коэффициента усиления на верхних частотах).

Усилительная часть лампового аппарата состоит из двух- или трехкаскадного усилителя на специальных миниатюрных электронных лампах (пентодах) с высокоэкономичной нитью накала, работающих от анодной батареи напряжением 15—45 *в*. За последние годы резко повышена экономичность усилительных ламп и еще более уменьшены их габариты.

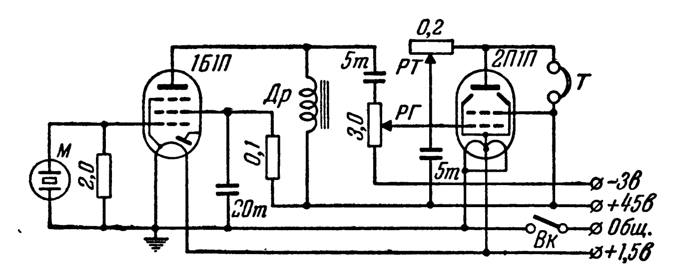
Экономичность современных ламп столь высока, что на накал лампы предварительного усиления требуется напряжение 0,625 *в* при токе всего в 10 *ма*. Это в некоторой степени предопределило распространение в слуховых аппаратах трехкаскадных усилителей. Нити накала ламп их первых двух каскадов соединены последовательно и питаются вместе с выходной лампой от одного элемента напряжением 1,4 *в*.

Повышение экономичности ламп по накалу и аноду неизбежно связано с ухудшением их параметров и снижением неискаженной выходной мощности. Однако это не вызывает ухудшения показателей слуховых аппаратов, так как одновременно повысились чувствительность микрофонов и телефонов. Кроме того, высокая экономичность и малогабаритность ламп позволили перейти от двух- к трехкаскадным схемам усилителей и избавиться от междуламповых трансформаторов или дросселей.

Сердечники дросселей и выходных трансформаторов сечением около 6 × 6 *мм* для уменьшения габаритов и веса изготовляются из пермаллоя, который отличается большой магнитной проницаемостью. Они собираются из Г-образных или Ш-образных пластин. Обмотки их выполняются проводом ПЭ 0,05 и имеют сопротивление постоянному току

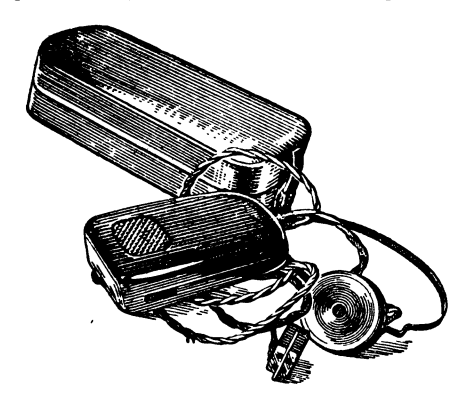
4 000—5 000 *ом* (вторичная обмотка трансформатора около 10 *ом*).

На фиг. 21 приведена схема двухлампового слухового аппарата типа ЛАБ-4, а на фиг. 22 показан его общий вид.



Фиг. 21. Схема слухового аппарата ЛАБ-4.
М — пьезоэлектрический микрофон; *РГ* — регулятор громкости; *РТ* — регулятор тембра.

В современных трехкаскадных усилителях первые два каскада собираются на сопротивлениях. На фиг. 23 изображена схема трехлампового аппарата ЛАБ-5 на пальчиковых лампах, который выпускался после аппарата ЛАБ-4.

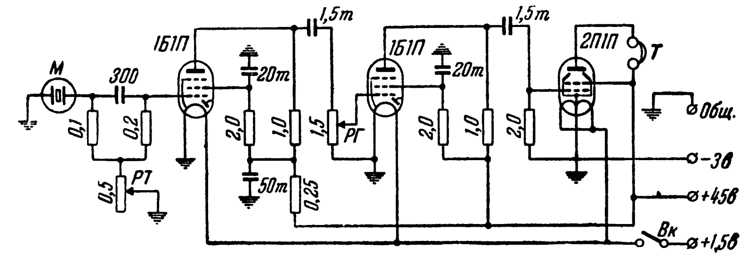


Фиг. 22. Внешний вид слухового аппарата ЛАБ-4.

Еще более современными трехламповыми усилителями являются слуховые аппараты «Звук» и «Зенит».

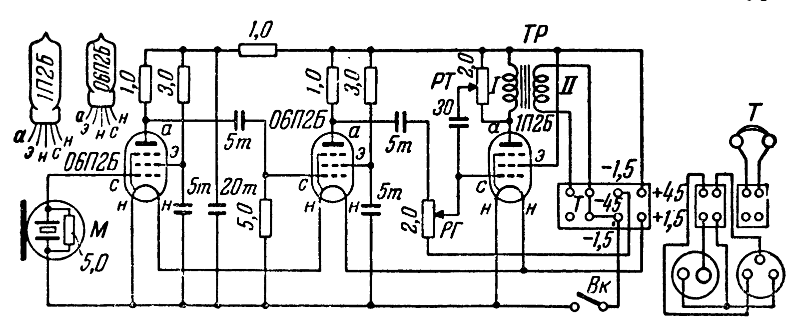
В схеме аппарата «Звук» (фиг. 24) для подачи отрицательного смещения на управляющую сетку оконечной лампы используется один элемент анодной батареи, которая

должна иметь дополнительный вывод. Обмотка *I* выходного трансформатора *Тр* в этом аппарате состоит из 5 000 витков провода ПЭ 0,05, а обмотка *II* — из 200 витков провода ПЭ 0,15. Величины остальных деталей указаны на схеме.



Фиг. 23. Схема слухового аппарата ЛАБ-5.

В схеме аппарата «Зенит» (фиг. 25) смещение автоматическое. Оно получается с помощью сопротивления R_2. Автоматическое смещение следует считать более целесообразным. Дело в том, что с уменьшением напряжения анодной батареи вследствие ее разряда уменьшается и величина отрицательного смещения, а это обеспечивает меньший уро-



Фиг. 24. Схема слухового аппарата „Звук“.

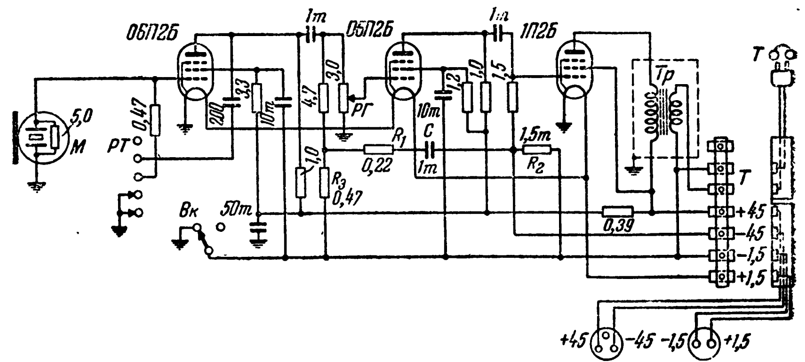
вень нелинейных искажений, чем при неизменяющейся величине отрицательного смещения.

Коэффициент усиления двухлампового усилителя по напряжению при использовании выходного трансформатора с коэффициентом трансформации от 1 : 20 до 1 : 25 равен 60—80 (35—38 *дб*) и трехлампового — 200—400 (46—52 *дб*).

Значительный коэффициент усиления трехлампового усилителя позволяет ввести в усилитель отрицательную обрат-

ную связь (в схеме фиг. 25 она осуществляется с помощью сопротивлений R_1, R_2, R_3 и конденсатора C). Использование отрицательной обратной связи снижает частотные и нелинейные искажения и несколько уменьшает зависимость усиления от напряжения анодной батареи.

Усиление по звуковому давлению, обеспечиваемое массовым типом слухового аппарата, не может быть бо̀льшим чем 60—70 *дб*, так как повышение коэффициента усиления неизбежно связано с созданием запаса выходной мощности во избежание перегрузки выходной лампы и появления нелинейных искажений. Повышение выходной мощности (соз-



Фиг. 25. Схема слухового аппарата „Зенит".

данием ее запаса) нерентабельно для массового аппарата, так как увеличивает его размеры, расход батарей и требует введения в аппарат компрессии (сжатия) динамического диапазона. Кроме того, столь большое усиление, при существующих ушных телефонных вкладышах не может быть практически реализовано, так как имеющаяся всегда утечка звуковой энергии при недостаточно плотном закрывании слухового прохода приводит к появлению акустической обратной связи (самовозбуждению аппарата) в результате воздействия этой звуковой энергии на микрофон. При использовании костного телефона образование акустической обратной связи становится более трудным.

Ламповый слуховой аппарат содержит регулятор тембра, которым можно на 10—20 *дб* изменять (ослаблять) усиление нижних или верхних частот усиливаемого диапазона с тем, чтобы сделать полную характеристику слухового аппарата некоторым подобием негатива аудиограммы, т. е. со-

средоточить большее усиление в той зоне частот, где имеется бо́льшая потеря слуха у больного. Нижние частоты ослабляются шунтированием микрофона дополнительным сопротивлением или уменьшением емкости конденсатора в экранной сетке первой лампы. Верхние частоты ослабляются конденсатором, шунтирующим анодную нагрузку в каком-нибудь из каскадов или цепью отрицательной обратной связи с конденсатором.

Наличие в ламповых аппаратах регулятора тембра не исключает возможности изменения частотной характеристики аппарата применением телефонов с различными частотными характеристиками. Это позволяет увеличить глубину регулировки частотной характеристики слухового аппарата.

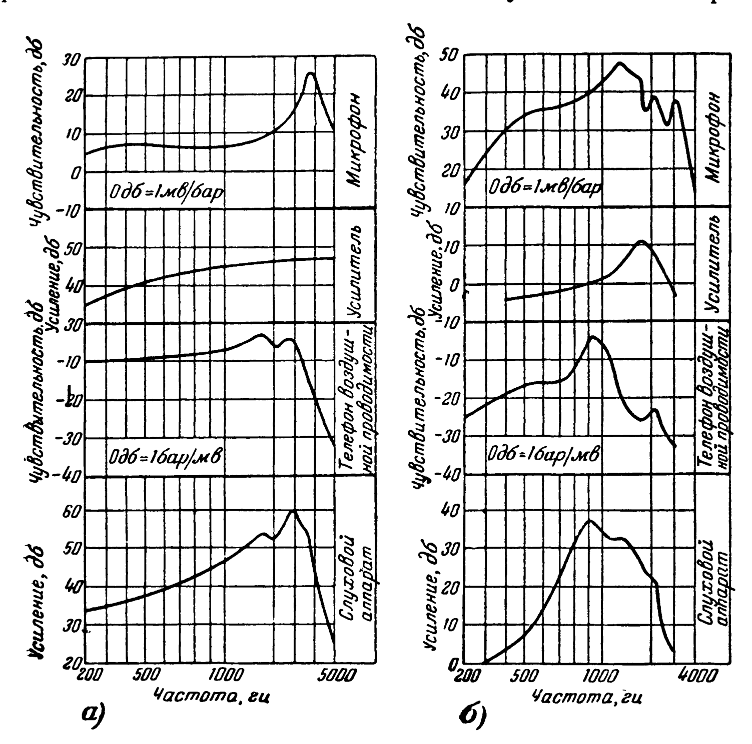
Воздействие отдельных элементов лампового слухового аппарата на его сквозную частотную характеристику представлено на фиг. 26,*а*. Здесь хорошо видно, как под влиянием характеристик микрофона, лампового усилителя и телефона формируется характеристика всего аппарата. Для сравнения на фиг. 26,*б* то же самое показано для микротелефонного аппарата. Коэффициент усиления слухового аппарата на данной частоте выражается произведением чувствительности микрофона, коэффициента усиления усилителя и чувствительности телефона.

Следует указать, что ношение слухового аппарата на себе или расположение его на столе приводит вследствие диффракционных явлений к небольшому повышению коэффициента усиления на частотах ниже 800 *гц*, достигающего 1,5—1,8 (3,5—5 *дб*), и незначительному понижению усиления на более высоких частотах. Если микрофон слухового аппарата закрыт одеждой из плотного материала, то такое покрытие снижает усиление на верхних частотах примерно до 5—7 *дб* при 5 000 *гц* (легкие шелковые ткани не оказывают такого влияния).

Потребление тока современным ламповым аппаратом колеблется по накалу от 40 до 80 *ма* и по аноду от 0,5 до 2 *ма*. Анодное напряжение употребляется в 15, 22,5, 30 и 45 *в*. Напряжение накала для всех аппаратов 1,45 *в*.

Влияние изменения напряжений батарей накала и анода на усиление одного из ламповых аппаратов на средних частотах представлено на фиг. 27. Почти равномерное снижение усиления, развиваемого аппаратом при уменьшении анодного напряжения, послужило основанием для употребления в одном и том же типе аппарата (обычно трехламно-

вом, обеспечивающим запас усиления) анодных батарей с меньшим напряжением (например, 30 *в* вместо 45 *в*) теми больными, которым вследствие меньшей потери слуха не приходится полностью использовать усиление аппарата.



Фиг. 26. Формирование частотных характеристик слухового аппарата под влиянием характеристик от отдельных его звеньев.

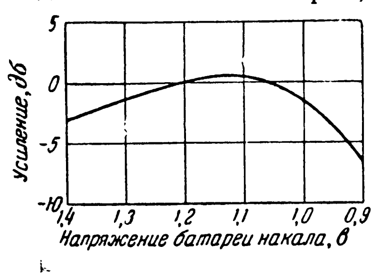
а — в ламповом аппарате; *б* — в микротелефонном аппарате.

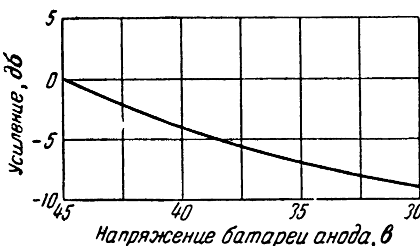
Это, помимо сокращения размеров и веса батарей, снижает расход тока и увеличивает тем самым срок службы батарей.

На фиг. 28 показаны малогабаритные батареи, помещенные в одном из ламповых слуховых аппаратов.

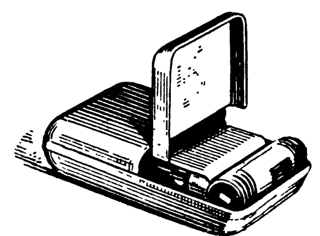
По мере разряда анодных батарей их внутреннее сопротивление возрастает, что иногда приводит к самовозбуждению усилителя (писку). Для предотвращения этого служит развязывающий фильтр в анодной цепи первой лампы.

Усиление с электронными лампами дает возможность ввести автоматическое ограничение коэффициента усиления (компрессию), которое, уменьшая динамический диапазон передачи, позволяет решить некоторые дополнительные задачи. Во-первых, ограничение усиления может уменьшить нелинейные искажения, возникающие при перегрузке выходной лампы. Во-вторых, наличие ограничения усиления может оказать помощь тугоухим, страдающим нарушением ощущения громкости, заключающимся в том, что потеря слуха становится меньшей к более громким звукам. Это означает, что слуховой аппарат для таких больных должен усиливать только тихие звуки. Наличие ограничения усиления позволяет также оказать помощь более мощными слуховыми аппаратами при резких потерях слуха.





Фиг. 27. Изменение усиления лампового слухового аппарата от изменения напряжения батарей.



Фиг. 28. Внешний вид малогабаритных батарей в слуховом аппарате.

Воспринимаемый ухом динамический диапазон определяется отношением интенсивностей при болевом пороге и пороге слышимости больного. Вследствие повышения порога слышимости и почти неизменного болевого порога при глубоких потерях слуха воспринимаемый динамический диапазон может стать меньше, чем динамический диапазон речи (30—40 *дб*), и тогда только сжатием диапазона принимаемых звуков можно обеспечить их восприятие без боли.

Важным показателем слухового аппарата является вносимый им собственный шум, который может создаваться главным образом звоном микрофонящих ламп и особенно

шумами микрофона, возникающими при его сотрясениях или трении одежды об аппарат.

Микрофонный эффект ламп создает сравнительно малый шум по сравнению с шумом микрофона. Поэтому последний должен быть хорошо амортизован, что достигается подвеской его на эластичных резиновых опорах.

В большинстве ламповых слуховых аппаратов микрофон помещен вместе с усилителем в общем с ним кожухе. Однако в последнее время выпускаются слуховые аппараты с дополнительным вынесенным пьезомикрофоном, который включается в аппарат при помощи вилки со шнуром (при этом микрофон, находящийся внутри аппарата, автоматически отключается). Это способствует уменьшению шумов аппарата, возникающих от трения по нему одежды. Дополнительный микрофон, оформленный под брошь, носится сверху одежды.

К слуховому аппарату можно также подключить телефонный адаптер, позволяющий использовать слуховой аппарат для усиления телефонного разговора.

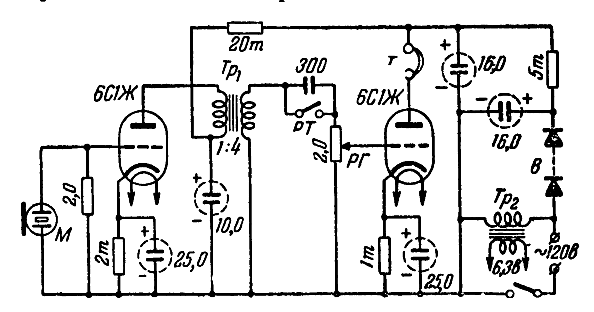
Телефонный адаптер представляет собой катушку индуктивности, которая включается в те же гнезда, что и вынесенный микрофон, и подносится к амбушуру телефонной трубки; таким образом, осуществляется индуктивная связь с катушками телефонной трубки. При таком способе усиления телефонного разговора имеют место значительно меньшие частотные искажения, чем тогда, когда телефонный разговор воспринимается микрофоном слухового аппарата, поднесенным к крышке телефона. Искажения уменьшаются вследствие того, что при употреблении индуктивной связи вместо акустической исключаются частотные искажения телефонной трубки и микрофона слухового аппарата.

Следует отметить, что уровень собственных шумов аппарата и его чувствительность к существующим в помещении шумам могут быть понижены сужением полосы воспроизводимых аппаратом частот. Эта возможность используется в некоторых слуховых аппаратах. При слушании в тишине воспроизводится максимальная для данного аппарата полоса частот, а при слушании в шуме с помощью специального переключателя полоса ограничивается со стороны нижних частот, мало влияющих на разборчивость речи.

Слуховые аппараты с питанием от осветительной сети не получили широкого распространения. Такие аппараты больше по габаритам, чем слуховые аппараты, рассчитанные на

батарейное питание, поскольку они содержат в себе и выпрямительное устройство. Однако в тех местах, где трудно обеспечить регулярное снабжение аппарата батареями, пользование в домашней или служебной обстановке аппаратом с питанием от сети или питание батарейного аппарата через выпрямитель (см. приложение 1 на стр. 42) является существенным удобством.

В сетевом аппарате обычно применяются усилители с двумя—четырьмя каскадами усиления и выпрямитель с селеновым столбиком. В нем могут быть использованы сетевые триоды, двойные триоды и пентоды. В остальном



Фиг. 29. Схема лампового слухового аппарата с питанием от осветительной сети.

схема сетевого слухового аппарата принципиально мало отличается от схемы батарейного аппарата. На фиг. 29 приведена одна из возможных схем двухлампового слухового аппарата на лампах типа 6С1Ж.

Следует иметь в виду, что при использовании в сетевом аппарате пьезомикрофона должны быть приняты меры по защите его от нагрева, так как пьезомикрофон может нормально работать при температуре до 35—40° С.

В сетевом аппарате могут с успехом найти применение конденсаторный и динамический микрофоны.

Полный коэффициент нелинейных искажений лампового слухового аппарата в диапазоне частот 500 ÷ 4 000 *гц* при уровне звукового давления, развиваемого воздушным телефоном над порогом слышимости (0,0002 *бар*), равном 95—110 *дб* (10—60 *бар*), составляет приблизительно 3—10%. Конечно, коэффициент нелинейных искажений слухового аппарата (как и всякого усилителя) сильно зависит от величины отбираемой от него мощности, т. е. от типа выходной лампы и величины анодного напряжения.

ИСПЫТАНИЕ И РЕМОНТ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Всякий слуховой аппарат проходит испытание дважды: в процессе его производства, когда проверяются электроакустические данные аппарата в целом и его элементов, и в процессе подбора аппарата больному.

Эффективность слухового аппарата для больного определяется по степени разборчивости речи и тому максимальному расстоянию, с которого может быть воспринята речь. Конечно, обе эти характеристики зависят не только от аппарата и от состояния слуха больного, но и от акустики помещения, в котором производится испытание аппарата, и, наконец, от дикции испытующего. Поэтому субъективная проверка аппарата больным, хотя и не дает абсолютной оценки качеству аппарата, тем не менее является очень важной.

Проверке аппарата больным должно предшествовать измерение его слуха аудиометром, которое дает первые сведения о величине нужного усиления, необходимом типе телефона (костной или воздушной проводимости) и о том, какое ухо надо снабжать аппаратом.

Оценка разборчивости и расстояния, на котором больной с аппаратом воспринимает речь, производится сначала в процессе разговора с больным или чтения ему какого-либо текста. Более строгая проверка разборчивости производится с помощью специальных артикуляционных таблиц, которые состоят или из отдельных не связанных между собою слов или из слогов. Приводим некоторые образцы таких таблиц для русского языка.

СЛОВЕСНЫЕ АРТИКУЛЯЦИОННЫЕ ТАБЛИЦЫ

1

требовать	комендант	краситель	техникум	ломать
рядом	издалека	кидать	мед	перевязка
врать	вскоре	вспоминать	успокаивать	пьяный
скандальный	косметика	близко	гость	естественный
драть	липа	убраться	количество	облить
шатун	поэма	интерес	машиностроительный	голос
ученический	до свиданья	девиз	злословить	язык
танковый	старший	подземный	зубр	отстроится
сырой	битый	мыть	национальный	большевистский
мало	безуспешно	колдун	замашка	барабанщик

2

обидный	япочец	неужели	генерал	черника
внешний	восстановления	лихо	залить	село
столб	два	извиваться	жалоба	архитектурный
позиция	отказ	переучесть	играть	пушистый
почта	поистине	тепло	вы	культура
теоретический	залиться	пиво	исправлять	выразитель
брошенный	змея	засушливый	век	обжечь
богатырский	снова	впрочем	травка	курок
волк	марганцевый	писк	куренье	прохлада
дурочка	запамятовать	навзничь	арбуз	чистовой

СЛОГОВЫЕ АРТИКУЛЯЦИОННЫЕ ТАБЛИЦЫ

1

няк	пуль	бущ	свум	сось	пиц	чтал	дюрь	хач	бал
мюф	зош	плись	рыц	дум	нысь	лут	сич	вость	дыс
фсен	ряй	бёр	чать	выс	гум	прюх	шеть	тют	ёфь
ёк	стял	тыпь	геф	бац	трит	шись	деп	здес	торь
вох	жоф	эфт	трух	фек	лефь	вик	щёк	кась	зех

2

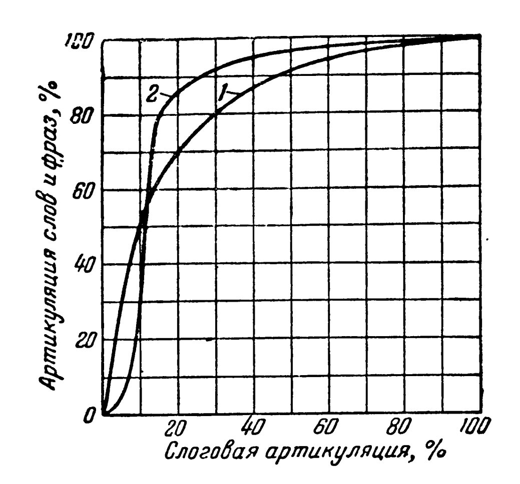
лир	нёт	трен	рась	скум	цать	дян	стоц	прыл	кром
дуч	свар	порь	нар	зунь	суль	пяф	золь	сель	хил
чтел	лась	хуф	песть	вый	кәсть	рёть	ряс	фыл	урт
жась	кеш	пыц	гуть	меш	бяс	туш	дес	сых	яс
лёнь	маф	зюс	лёф	буф	шеп	длаф	тёр	непь	шоль

Каждая такая таблица содержит 50 слов или слогов, которые произносятся перед микрофоном аппарата и записываются больным, после чего устанавливается процент правильно принятых слов или слогов. Это и будет словесным или слоговым процентом разборчивости. Следует отметить, что испытание отдельными слогами не дает реальной оценки способности больного разбирать речь, ибо в жизни обычно приходится слушать осмысленные слова и фразы, но зато позволяет исключить влияние интеллекта испытуемого и всевозможных проявлений ассоциативного восприятия на результаты эксперимента. Результат же, полученный для бессмысленных слогов, легко распространить на понятность слов и фраз с помощью кривой фиг. 30.

Надо сказать, что иногда при проверке разборчивости больной изолируется от диктора (например, помещается в другой комнате); аппарат при этом находится перед дик-

тором, а телефон с помощью удлинительной линии подводится к испытуемому. Такая проверка дает, однако, скорее сведения о качестве слухового аппарата как канала связи, чем о его эффективности для данного больного, и поэтому не может быть правильной.

Значительно более сложной является объективная проверка электроакустических данных слухового аппарата и его элементов. Она может быть осуществлена только



Фиг. 30. Кривые, характеризующие зависимость артикуляции слов *(1)* и фраз *(2)* от слоговой артикуляции.

с помощью комплекта специальной электроакустической измерительной аппаратуры в лабораторных или промышленных условиях.

Наиболее важными показателями слухового аппарата являются:

1) частотная характеристика и пределы ее регулирования;

2) коэффициент усиления;

3) коэффициент нелинейных искажений;

4) максимальный уровень звукового давления или механических вибраций (в случае костного телефона), который создается аппаратом на разных частотах при заранее установленном коэффициенте нелинейных искажений (чаще всего 10%).

Упрощенная проверка исправности слухового аппарата может быть сделана прослушиванием через него собственной речи, проверкой самовозбуждения слухового аппарата путем приближения его телефона к микрофону и измерением потребляемого аппаратом тока (в ламповом аппарате — проверкой режима работы ламп).

Прослушивание собственного голоса через слуховой аппарат позволяет не только проверить общее состояние аппарата, но и установить источники и характер некоторых неисправностей, например, повреждение шнуров (по трескам), наличие искажений, недостаточное усиление и т. п.

Испытание слухового аппарата на самовозбуждение дает суждение об его усилении. Для этого телефон включенного слухового аппарата сближают с микрофоном до тех пор, пока в телефоне возникнет свист. Затем телефон постепенно удаляют от микрофона и отмечают расстояние, при котором свист прекращается. При этом регулятор громкости (усиления) должен находиться в положении максимума усиления. У исправного микротелефонного аппарата срыв самовозбуждения наступает при удалении воздушного телефона на 10—20 *см* и костного телефона на 2—5 *см* от микрофона. Для лампового аппарата эти расстояния соответственно равны 50—100 *см* и 10—25 *см*.

Отыскание повреждений в слуховом аппарате должно всегда производиться в определенном порядке; это значительно сокращает время, затрачиваемое на отыскание повреждений. Правильной следует считать такую последовательность действий:

1. Проверка работы аппарата на слух и проба на самовозбуждение.
2. Внешний осмотр аппарата и выявление механических повреждений.
3. Проверка напряжений источников питания (батарей) при нагрузке их на включенный аппарат.
4. Проверка электрического режима аппарата путем измерения потребляемых токов и напряжений на электродах усилительных ламп.

Остановимся более подробно на проверке отдельных частей слуховых аппаратов и на устранении наиболее распространенных повреждений:

При отсутствии внешних механических повреждений микротелефонного слухового аппарата с усилителем и исправных шнурах и батарее измеряют ток в цепи микрофона-

звукоприемника и в цепи телефона. Ток в цепи телефона измеряется включением миллиамперметра между одним из штырьков шнура и его гнездом в корпусе телефона. Нормальная величина тока составляет 40—60 *ма.* Ток в цепи микрофона-звукоприемника можно определить, включив прибор в провод, идущий к микрофону. Если, не вскрывая микрофона или усилителя, это сделать невозможно, то ток определяется как разность между током в цепи батареи и током в цепи телефона. Нормальная величина тока в цепи микрофона-звукоприемника составляет 30—40 *ма.*

Кроме порчи шнуров (на нее укажет отсутствие тока в одной из этих цепей), наиболее распространенной неисправностью микротелефонных аппаратов, которая проявляется в виде слабой работы аппарата или в виде искажений, является нарушение регулировки микротелефонного усилителя или телефона, вызванное ослаблением постоянного магнита. Это приводит к увеличению воздушного зазора в телефонной его части и уменьшению сопротивления микрофонной части. Последнее можно определить по возрастанию тока в цепи телефона, приводящему иногда к прилипанию якоря (мембраны) с полюсными наконечниками.

В случае обнаружения в цепи телефона повышенного тока следует, вскрыв усилитель, уменьшить воздушный зазор в его телефонной части или, лучше, увеличить расстояние между неподвижным угольным диском и шариками, подложив бумажные кольца под края диска. Правильность расстояния определится величиной тока (при слишком большом расстоянии ток будет ниже нормального). Если ослабел магнит в телефоне, то для восстановления усиления, даваемого аппаратом, необходимо уменьшить воздушный зазор между якорем и полюсными наконечниками. Регулировка зазоров в телефоне и усилителе должна проводиться обязательно под током.

Улучшение работы механически исправного микрофона может быть достигнуто следующим путем. Проверив величину зазора между поверхностью угольных колодок и мембраной (он должен быть равен 0,35 *мм*) и наличие девяти шариков диаметром 8 *мм* в каждой лунке колодок, промывают эфиром или спиртом лунки колодок, шарики и центральную часть мембраны, соприкасающуюся с шариками.

Следует принять за правило промывать при ремонте рабочие поверхности угольных деталей микрофона и усилителя, проверять и обеспечивать чистоту воздушных зазоров в те-

лефоне и телефонной части усилителя, удаляя из них коррозию и грязь.

Причиной неисправности микротелефонного аппарата может быть повреждение регулятора громкости, которое обнаруживается тресками при перемещении его ползунка.

В ламповом слуховом аппарате сначала надо убедиться в исправности батарей, шнуров и телефона. Затем вскрывают аппарат и прежде всего проверяют исправность пьезомикрофона подачей на него от батареи напряжения 5—10 *в*. В момент включения напряжения микрофон потрескивает. Убедиться в исправности пьезомикрофона можно также, измерив его активное сопротивление; у исправного микрофона оно должно быть не ниже 1 *мгом*.

Убедившись в исправности пьезомикрофона, переходят к проверке режима работы ламп, измеряя высокоомным вольтметром (10—20 *ком/в*) напряжения в анодных и сеточных цепях усилителя. Если напряжение на аноде или экранной сетке какой-либо из ламп меньше 10 *в*, это указывает на нарушение режима. Чаще всего это происходит в первом каскаде в результате порчи конденсатора анодного фильтра. Отсутствие напряжения или заниженное напряжение могут также явиться следствием повреждения сопротивления, а также обмотки дросселя или трансформатора.

Некоторые аппараты самовозбуждаются даже при свежей батарее анода. Для борьбы с этим в двухламповом аппарате необходимо включить между экранной сеткой первой лампы и корпусом конденсатор емкостью в 5 000—10 000 *пф*, а в трехламповом — увеличить на 0,03—0,05 *мкф* емкость конденсатора в анодном фильтре первого каскада.

Ориентировочное суждение о работе двух первых каскадов можно получить, прикасаясь пальцем к сеточным выводам ламп или постукивая по их баллонам. Отсутствие свиста или звона укажет на их неисправность.

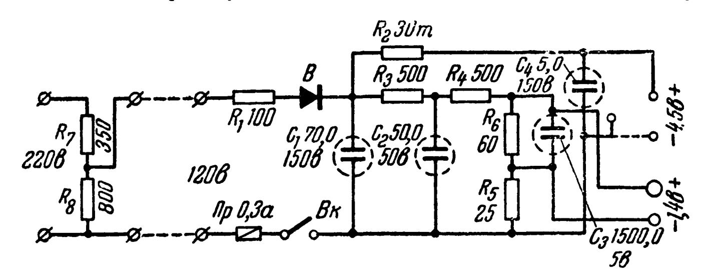
Удобным способом сравнительной проверки первых двух каскадов является проба аппарата при замыкании конденсатором емкостью 0,05—0,1 *мкф* выводов управляющей сетки и анода каждой из этих ламп поочередно. При этом сравнивается громкость работы аппарата без первой или без второй лампы. Тот каскад, без которого аппарат будет работать значительно громче, чем без другого, и является неисправным.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ВЫПРЯМИТЕЛЬ ДЛЯ ПИТАНИЯ СЛУХОВОГО АППАРАТА ОТ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Ниже описывается устройство выпрямителя для питания от осветительной сети напряжением 120 *в* слуховых аппаратов, типов ЛАБ-7, ЛАБ-8 и «Звук».

Схема выпрямителя показана на фиг. 31. Она содержит селеновый выпрямитель *В*, состоящий из 11 круглых шайб диаметром 35 *мм*, фильтр R_2C_4, через который осуществляется питание анодных цепей, и трехзвенный фильтр $C_1R_3C_2R_4C_3$ в цепи накала. Сопротив-



Фиг. 31. Схема выпрямителя для питания слухового аппарата от осветительной сети.

ление R_5 служит для создания отрицательного смещения на управляющую сетку выходной усилительной лампы слухового аппарата, а сопротивление R_6 является защитным для конденсаторов C_2 и C_3, так как препятствует значительному повышению напряжения на них при включении выпрямителя вхолостую (раньше слухового аппарата). Для питания слуховых аппаратов с автоматическим смещением провод от «минуса» выпрямителя необходимо присоединить не к среднему (по схеме) гнезду, а к крайнему, как это показано пунктиром.

Потребляя от электросети мощность около 20 *вт*, выпрямитель обеспечивает анодное напряжение 45 *в* при токе 2 *ма* и напряжение накала 1,35 *в* при токе 75 *ма*.

Выпрямитель собирается в небольшом пластмассовом или металлическом ящике. Для соединения с выпрямителем слухового аппарата используются колодки с гнездами от негодных батарей анода и накала

или же на отдельной гетинаксовой панельке монтируются гнезда диаметрами 2,5, 3,2 и 4 *мм* (соответственно диаметрам штырьков колодок слухового аппарата).

Некоторую трудность представляет выбор места для сопротивлений R_3 и R_4, которые выделяют значительное количество тепла (в них теряется около 15 *вт*). При небольших размерах ящика выпрямителя во избежание перегрева конденсаторов эти сопротивления следует смонтировать снаружи.

Никакого налаживания выпрямитель не требует, нужно только до присоединения слухового аппарата произвести предварительную проверку правильности даваемых им напряжений (особенно накального), чтобы не повредить лампы слухового аппарата. Для этого в гнезда анодного напряжения включают сопротивление в 20—25 *ком*, а в накальные гнезда 18 *ом* и измеряют напряжения на этих сопротивлениях. Если напряжения несколько отличаются от необходимых, то нужно изменить величину сопротивления R_1.

Выпрямитель позволяет питать слуховой аппарат и от сети переменного тока напряжением в 220 *в*. Это может быть сделано либо увеличением числа шайб селенового столбика до 20 шт. и сопро тивлений R_3 и R_4 до 1 *ком* каждое, либо включением перед выпрямителем делителя R_7R_8, показанного на фиг. 31. Более экономичным является включение выпрямителя через понижающий трансформатор (с 220 на 120 *в*).

Выпрямитель может быть также включен (без трансформатора) в осветительную сеть постоянного тока. В этом случае он используется как фильтр-делитель. При этом необходимо соблюдать полярность включения («плюс» сети должен быть на селене).

Поскольку описываемый выпрямитель не имеет трансформатора, а соединен непосредственно с осветительной сетью, гнезда для питания слухового аппарата могут находиться по отношению к земле под напряжением. Рекомендуется поэтому для устранения всякой возможности касания проводов, находящихся под напряжением к земле, надеть изоляционные трубочки на штырьки шнура, идущего к телефону.

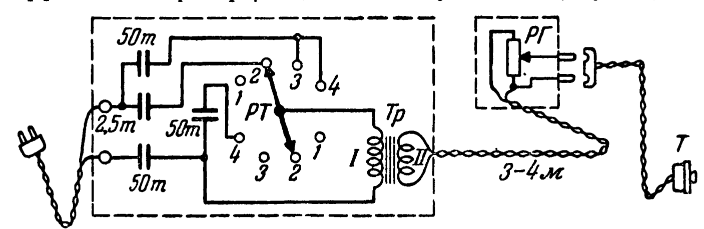
ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРИСТАВКА К РАДИОПРИЕМНИКУ ДЛЯ ТУГОУХИХ

Владельцам слуховых аппаратов хорошо известно, что прослушивание радиопередач со слуховым аппаратом сопровождается большими искажениями, понижающими разборчивость речевой передачи и приятность музыкальной. Это происходит потому, что имеющиеся в частотной характеристике громкоговорителя максимумы (пики) чувствительности вызывают на некоторых частотах перегрузку слухового аппарата и значительные нелинейные искажения. Кроме того, отдельные максимумы усиления слухового аппарата и чувствительности громкоговорителя, совпадая по частотам, создают большие частотные искажения. Для устранения этих искажений необходимо прослушивать радиопередачи с помощью телефона от слухового аппарата (для воздушной или костной проводимости), включаемого непосредственно на выход радиоприемника.

Значительное число радиоприемников имеют дополнительные гнезда для включения внешнего громкоговорителя. Однако очень часто непосредственно включать телефон от слухового аппарата в эти гнезда нельзя, так как он имеет низкоомную обмотку (около 15 *ом* для постоянного тока), а дополнительные гнезда встречаются рассчитанными на высокоомную натрузку (3—8 *ком*). При непосредственном включении телефона на выход радиоприемника отсутствует также возможность изменять частотную характеристику передачи в соответствии с особенностями поврежденного слуха. Кроме того, при таком включении приходится регулировать громкость передачи регулятором радиоприемника, лишая возможности пользоваться им других слушателей (с нормальным слухом). Поэтому самым целесообразным является включение в радиоприемник телефона от слухового аппарата через описываемую ниже приставку.

Приставка (фиг. 32) содержит понижающий трансформатор *Тр* с коэффициентом трансформации 1 : 15, ступенчатый регулятор тембра



Фиг. 32. Схема приставки к радиоприемнику.

РТ и регулятор громкости *РГ*. Регулятор тембра дает возможность получить три частотные характеристики воспроизведения: с ослабленной передачей нижних частот (положение *2*), с передачей без ослабления нижних или верхних частот (положение *3*) и с ослабленной передачей верхних частот (положение *4*). В положении *1* регулятора приставка отключается от радиоприемника. Указанные изменения частотной характеристики определяются величиной переходного конденсатора и шунтированием обмотки *I* понижающего трансформатора *Тр* конденсатором. Все конденсаторы в приставке должны быть рассчитаны на рабочее напряжение 250 *в*.

Регулятор громкости *РГ* может быть помещен в самой приставке, но для более удобного пользования им лучше расположить его на конце шнура длиной 3—4 *м* у телефона *Т*, которым может служить телефон воздушной или костной проводимости от аппаратов «Звук» или ЛАБ-8. Включение телефона осуществляется с помощью штырьков, подобных имеющимся для этого в слуховом аппарате.

Понижающий трансформатор *Тр* собран на сердечнике из пластин Ш-12; толщина его набора 15 *мм*. Первичная обмотка *I* трансформатора имеет 3 500 витков провода ПЭ 0,1, а вторичная обмотка — *II* 230 витков провода ПЭ 0,2.

Конструктивно приставка должна состоять из ящичка с трансформатором, регулятором тембра, шнуром с вилкой для соединения с приемником и шнуром длиной 3—4 *м*, на конце которого в другом меньшего размера ящичке монтируется регулятор громкости и штырьки для включения телефона.

Следует иметь в виду, что, поскольку положение регулятора тембра связано с особенностями слуха, то, определив по наилучшей разборчивости радиопередачи наивыгоднейшее положение регулятора, впоследствии нужно придерживаться этого положения.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАМП 06П2Б и 1П2Б ДЛЯ СЛУХОВЫХ АППАРАТОВ

Миниатюрные пентоды 06П2Б и 1П2Б выпускаются нашей промышленностью специально для слуховых аппаратов. Такие лампы работают в аппаратах ЛАБ-7, ЛАБ-8 и „Звук".

Пентод 06П2Б предназначен для предварительных каскадов усилителей с питанием от батарей. Он имеет следующие средние параметры:

Напряжение накала $U_н = 0{,}625$ *в.*

Ток накала $I_н = 30$ *ма.*

Напряжение на аноде $U_a = 30$ *в.*

Напряжение на экранной сетке $U_э = 30$ *в.*

Напряжение на управляющей сетке $U_c = 0$.

Ток анода $I_a = 0{,}2$ *ма.*

Ток экранной сетки $I_э = 0{,}06$ *ма.*

Коэффициент усиления $\mu = 90$.

Крутизна характеристики $S = 0{,}175$ *ма/в.*

Внутреннее сопротивление $R_i = 0{,}5$ *мгом.*

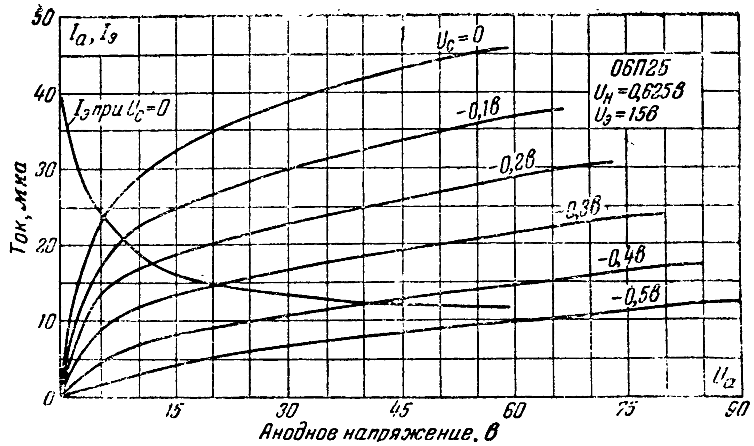
При использовании лампы 06П2Б в усилителе на сопротивлениях оптимальной нагрузкой в цепи анода будет сопротивление $R_a = 1$ *мгом*, а в цепи экранной сетки $R_э = 3$ *мгом.* С такими сопротивлениями и анодной батареей напряжением в 30 *в* каскад с лампой 06П2Б дает усиление по напряжению в 35 раз.

На фиг. 33 приведено семейство анодных характеристик лампы 06П2Б при напряжении на экранной сетке $U_э = 15$ *в*, которое приблизительно соответствует режиму с указанным сопротивлением в цепи экранной сетки при напряжении анодной батареи в 45 *в.*

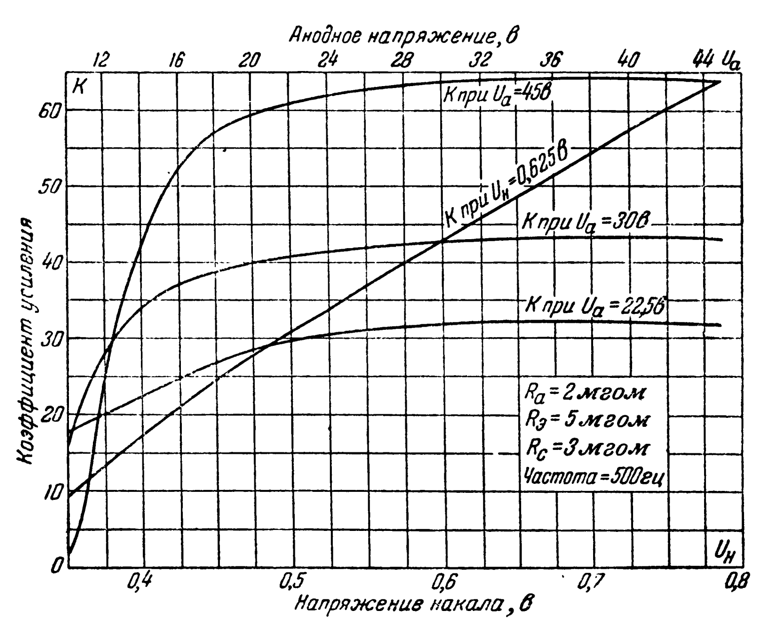
Поскольку пентод 06П2Б не требует отрицательного смещения на управляющую сетку, один из концов сеточного сопротивления должен соединяться с отрицательным концом нити накала.

Если в усилителе используются две лампы 06П2Б и их нити накала соединены последовательно, то имеется возможность подать на управляющую сетку одной из ламп отрицательное смещение, равное напряжению накала другой, т. е. 0,625 *в.*

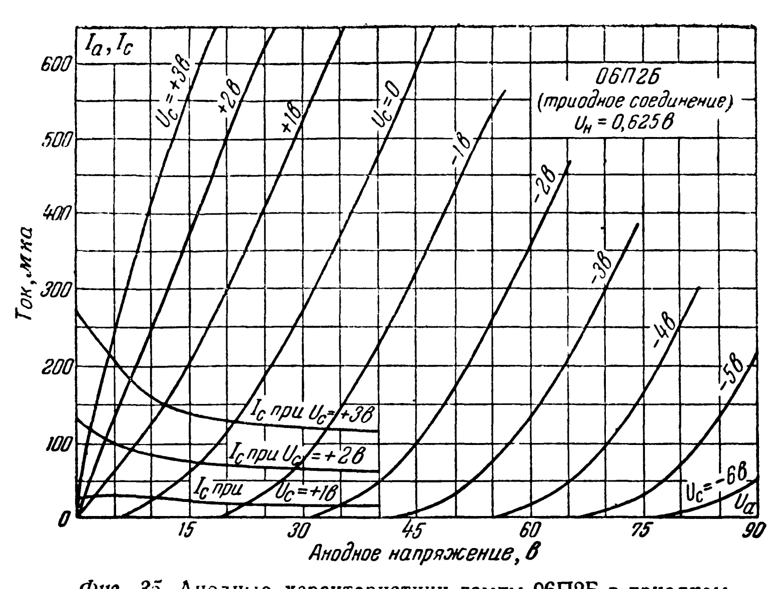
При небольшой амплитуде входного сигнала, когда амплитуда на управляющей сетке лампы второго каскада также невелика, подача отрицательного напряжения на управляющую сетку первой лампы может способствовать снижению собственного шума первой лампы. Наоборот, при значительной амплитуде сигнала на управляющей сетке второй лампы более существенное значение имеет подача отрицательного смещения на сетку этой лампы: это исключит нелинейные искажения, вызываемые ее сеточными токами.



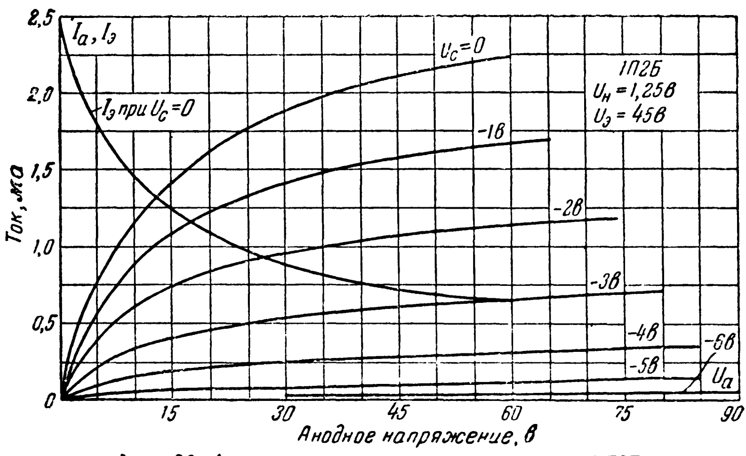
Фиг. 33. Анодные характеристики пентода 06П2Б.



Фиг. 34. Зависимость коэффициента усиления каскада с пентодом 06П2Б от напряжений накала и анода.



Фиг. 35. Анодные характеристики лампы 06П2Б в триодном соединении.



Фиг. 36. Анодные характеристики пентода 1П2Б

На фиг. 34 показана зависимость коэффициента усиления каскада с лампой 06П2Б от напряжения батарей анода и накала.

Пентод 06П2Б может быть использован как триод путем соединения его экранной сетки с анодом. В этом случае лампа при анодном напряжении $U_a = 45$ *в* обладает следующими средними параметрами: крутизна характеристики 0,25 *ма/в*; коэффициент усиления 25; внутреннее сопротивление 100 *ком*. На фиг. 35 приведено семейство анодных характеристик при триодном соединении лампы 06П2Б. В левом нижнем углу фиг. 35 даны кривые токов управляющей сетки.

Пентод 1П2Б предназначен для выходного каскада усилителя, питаемого от батарей. Он имеет следующие средние параметры:

Напряжение накала $U_н = 1{,}25$ *в*.

Ток накала $I_н = 50$ *ма*.

Напряжение на аноде $U_a = 45$ *в*.

Напряжение на экранной сетке $U_э = 45$ *в*.

Напряжение на управляющей сетке $U_c = -2$ *в*.

Ток анода $I_a = 0{,}6$ *ма*.

Ток экранной сетки $I_э = 0{,}25$ *ма*.

Крутизна характеристики $S = 0{,}5$ *ма/в*.

Внутреннее сопротивление $R_i = 0{,}36$ *мгом*.

При анодной нагрузке 50—60 *ком* и анодном напряжении около 45 *в* пентод 1П2Б способен отдать 10 *мвт* неискаженной мощности при коэффициенте нелинейных искажений в 10%.

На фиг. 36 показано семейство анодных характеристик пентода 1П2Б при напряжении на экранной сетке $U_э = 45$ *в*.

Срок службы ламп 06П2Б и 1П2Б равен 500 час. Высота лампы 06П2Б равна 32 *мм*, а лампы 1П2Б — 33 *мм*. Ширина каждой из этих ламп (баллон их несколько сплюснут) равна 10 *мм*, а толщина — 7,25 *мм*. Вес одной лампы составляет около 3 *г*.

ЛИТЕРАТУРА

С. Н. Ржевкин, Слух и речь в свете современных физических исследований, ОНТИ, 1936.

В. В. Фурдуев, Электроакустика, Гостехиздат, 1948.

Л. Беранек, Акустические измерения, ГИИЛ, 1952.

Г. С. Гензель и Л. И. Мороз, Электроакустическая аппаратура, Речиздат, 1949.

В. А. Красильников, Звуковые волны, Гостехиздат, 1951.

Цена 1 р. 20 к.